

Estudi per la selecció de CAG pel procés de potabilització de l'ETAP Ter

Study of the GAC selection for the Ter water purification process

02 de setembre de 2011, Cerdanyola del Vallès

Autor/a: Patricia Galera Bella

Técnica superior en química ambiental, IES. Mercè Rodoreda, L'Hospitalet del Llobregat. Alumna en Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, 2011.

Director: Fernando Valero Cervera

Llicenciat en Farmàcia, Universitat de Barcelona, i Doctor en Medicina, Universitat Autònoma de Barcelona.

Tutor/a docent:

Montserrat Sarrà i Adroguer

Professora titular d'universitat numerari, Departament d'Enginyeria Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès.

Paqui Blánquez Cano

Professora lectora, Departament d'Enginyeria Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, sotscoordinadora d'Estudis d'Enginyeria Química.

PARAULES CLAU

Adsorció, carbó activat, carboni orgànic total, ultraviolat, índex de blau de metilè, índex de iode.

RESUM

El present document representa l'estudi per la selecció de CAG pel procés de potabilització de l'ETAP Ter a partir d'un disseny experimental de planta pilot de menor escala. Es determina l'adequació de carbó en base a les característiques físiques (superfície BET, índex de iode...) i la capacitat d'eliminació de COT i UV respecte la mostra a tractar.

KEY WORDS

Adsorption, activated carbon, total organic carbon, ultraviolet, methylene blue index, iodine index.

ABSTRACT

The study of the selection of the GAC for the Ter water purification process has been carried out in this work, taking into account the results obtained in an experimental small-scale pilot plant. It has been determined the carbon suitability based on physical characteristics (BET surface area, iodine,...) and on the ability of the carbon for removing TOC and UV from the treated samples.

INTRODUCCIÓ

Aigües Ter Llobregat (ATLL) és una empresa pública de la Generalitat de Catalunya, adscrita al Departament d'agricultura, ramaderia, pesca, alimentació i medi natural que va ser creada l'any 1990 i que és responsable de la planificació, la construcció, la millora, la gestió i l'explotació de les instal·lacions que constitueixen la xarxa bàsica d'abastament, el denominat sistema Ter Llobregat, per al tractament, emmagatzematge i transport de l'aigua.

ATLL dóna subministrament d'aigua potable a més de 103 municipis de les comarques del Barcelonès, el Baix Llobregat, el Maresme, el Vallès Oriental i l'Occidental, l'Anoia, l'Alt Penedès, el Garraf i la Selva, el que representa una població de més de 4 milions i mig d'habitants.

La xarxa regional que gestiona té en l'actualitat 700 km de canonades de diversos diàmetres, 145 dipòsits, 59 estacions de bombament i 227 punts de lliurament on finalitza el seu abastament en alta.

Per a potabilitzar l'aigua ATLL disposa de dues estacions de tractament d'aigua potable, una que tracta l'aigua del riu Llobregat i que està situada en el municipi d'Abrera i l'altra que tracta l'aigua del Ter i que es troba situada en els termes municipals de Cardedeu, la Roca del Vallès i Llinars del Vallès. A més d'una planta dessalinitzadora a la desembocadura del riu Llobregat, que permet augmentar la disponibilitat de cabals a tota la xarxa.

El servei que presta ATLL està regulat pel Decret Legislatiu 3/2003, de 4 de novembre, en el que es va aprovar el Text refós de la legislació en matèria d'aigües de Catalunya. Els seus Estatuts van ser aprovats pel Decret 210/1993 de 27 de juliol.

Els objectius d'ATLL són la planificació, la construcció, la millora, la gestió i l'explotació de les instal·lacions que constitueixen la xarxa bàsica d'abastament -el denominat Sistema Ter Llobregat- per al tractament, emmagatzematge i transport de l'aigua en alta.

Per aquest motiu, el departament R+D elabora múltiples projectes encarats a la millora de la qualitat de l'aigua amb noves tecnologies, per tal de fer complir la legislació que cada cop més és més rigorosa i exhaustiva. Una d'aquestes tecnologies és l'aplicació de carbó actiu granulats (CAG) en el procés de filtració, just després de la decantació. (veure imatge 1)

Els sòlids porosos posseeixen en el seu interior cavitats o túnels que reben el nom de porus. Aquests constitueixen la part més important en l'estructura d'un carbó activat, ja que determinen les seves propietats texturals, les quals es relacionen amb la

adsortivitat i determinen la superfície específica al llarg del sistema porós, facilitant la difusió i l'adsorció [1, 2, 3]. El carbó activat és un terme general que s'aplica a tot un seguit de productes derivats de materials carbonosos; és un material amorf que presenta un àrea superficial excepcionalment alta, mesurat per adsorció de nitrogen, i es caracteritza per tenir una proporció de microporus. Aquestes característiques li confereixen propietats adsorbents excepcionals que poden ser aprofitades en diferents àrees. Durant el procés d'obtenció de carbons activats, és possible modificar tant els processos de carbonització i d'activació, per modificar les seves propietats texturals i químiques. A més, aquest material és comunament utilitzat per a la retenció de contaminants gasosos, en el tractament d'aigües residuals i en la purificació d'aigua per al consum humà [4]. Una dels avantatges d'aquest material és el seu ús per retirar substàncies altament tòxiques que es troben a molt baixes concentracions [4].

Per aplicacions en fase líquida, els carbons activats més utilitzats són els polvoritzats. Addicionalment, el carbó activat es troba en pelets i grànuls [5,6]. Els carbons activats obtinguts industrialment poden provenir de fusta i residus forestals o altres tipus de biomassa (torba, lignit i carbons minerals) així com de diferents polímers i fibres naturals o sintètiques. Els factors que cal tenir en compte per triar un precursor adequat són: bona disponibilitat i baix cost, baix contingut en matèria mineral i que el carbó resultant posseeixi unes bones propietats mecàniques i capacitat d'adsorció. Els residus de fusta, les peles de coco i fruita seca, així com les llavors d'algunes fruites



Imatge 1: Fotografia dels filtres de carbó de l'ETAP Ter. Font: ATLL

juntament amb els carbons minerals són els precursors més utilitzats.

L'adsorció és un procés pel que els àtoms, ions o molècules són atrapats o retinguts a la superfície d'un material.

La complexitat de l'estructura del carbó activat ha portat a l'aplicació de moltes tècniques experimentals per a la seva caracterització. Existeixen mètodes que permeten comparar les característiques més importants, com: àrea de superfície, grandària de porus, nombre de iode, índexs d'adsorció de blava de metilè, densitat, grandària, humitat, cendres, resistència a l'abració i altres paràmetres aplicables a les especificacions del carbó [7].

En el cas de l'aplicació en tractaments d'aigües potables, també existeixen altres metodologies que informen l'adequació del carbó front a l'aigua a tractar, encarades a les característiques de l'aigua tractada, tot i que no es troben tipificades en cap normativa.

L'objectiu principal és seleccionar un carbó actiu granular apte per a les condicions que l'aigua del riu Ter manifesta en el seu tractament a l'ETAP, a partir d'un disseny experimental de planta pilot de menor escala. (veure imatge 2)

S'opera, per tant, de forma paral·lela a la planta real per maximitzar les condicions



Imatge 2: Planta pilot de l'ETAP Ter. Elaboració pròpia

hidrològiques en que el subjecte d'estudi s'hi trobarà. Com a objectius específics s'inclou:

- Aplicar els mètodes analítics necessaris per conèixer les característiques del CAG i de l'aigua abans i després de ser filtrada.
- Acceptar les expectatives divulgades pels diferents agents comercials sobre les aptituds dels carbons d'origen vegetal front a la potabilització d'aigua.
- Interpretar la possible diferenciació d'un mateix producte procedent de cases comercials dissimilars.
- Un cop determinat el CAG més adient pel procés de potabilització de l'ETAP, aconseguir una eina que permeti relacionar els resultats obtinguts a la planta pilot, amb el procés real de l'ETAP industrial.

MATERIALS I MÈTODES

1. Descripció de la planta pilot

La planta pilot és una replica a escala més petita de l'ETAP, destinada, majoritàriament, a realitzar assajos i investigacions amb l'objectiu de millorar la qualitat de l'aigua que s'hi produeix i optimitzar el procés de tractament. Una planta pilot, per tant, és un muntatge que intenta reproduir les condicions del que s'hi produeixen a planta real, o d'algun punt d'aquesta en especial. La diferència entre la planta pilot i la real s'esdevé en la projecció de l'escala, on la planta pilot és, normalment, molt més petita i facilita operar i/o experimentar amb noves tècniques, reactius, productes i condicions.

és una reproducció a escala del tot el procés productiu que s'inicia a la post-decantació fins a l'emmagatzematge, és a dir, l'aigua que es subministra a la planta pilot prové de l'etapa post-decantació de la planta real, per tal de reduir possibles diferències composicionals entre una i l'altre.

La planta està composta per quatre columnes de PVC transparent 300 mm de diàmetre i 2500 mm d'alçada. Cada una d'elles és una línia independent preparades per realitzar estudis amb diferents carbons allotjats en el seu interior. Aquestes es



Imatge 3: Esquema de la planta pilot

sustenten amb una estructura metàl·lica de forma rectangular que les abraça, així també amb un conjunt de sistemes de subjecció que garanteixen les condicions de treball. (veure imatge 3)

2. Descripció dels carbons en estudi

- **FILTRE 1**

És un carbó activat granular bituminós d'alta puresa, GAC 10x20 **A** que es produeix per l'activació de vapor de grans seleccionats de carbó bituminós aglomerat. Com a resultat d'una activació d'un procés patentat, únic i de qualitat de controls més exigents, és molt apropiat per l'adsorció amb l'objectiu d'eliminar impureses tant a la indústria química, alimentària, farmacèutica i, com per aplicacions en tractaments d'aigua.

- **FILTRE 2**

El segon filtre es disposa de carbó tipus TL830 **B** de carbons activats granulars, i és també, d'hulla bituminosa. Es produeix per l'activació de vapor de grans seleccionats de carbó bituminós que han estat prèviament polvoritzat i després aglomerats. El TL830 té una capacitat d'adsorció i un nombre de porus de transport alts. Això li dona al carbó una major selectivitat per a l'eliminació de microcontaminants tals com els pesticides i els compostos del sabor i olor en la presència d'altres concentracions de matèria orgànica natural. També elimina les substàncies húmiques, la precursors del subproducte de

la desinfecció, que reaccionen amb clor per formar compostos com els trihalometans.

- **FILTRE 3**

S'ha seleccionat un carbó d'origen vegetal **C**, concretament de pela de coco tamisat 10x20, Aquest tipus de carbons activats són productes de molt alta capacitat per retenir contaminants de diversos fluids. Fabricats a partir de pela de coco es caracteritzen per tenir una gran proporció de microporus de diàmetre adequat per eliminar molècules petites. Són excel·lents en la retenció de contaminants orgànics, com els pesticides, fenols, detergents, i compostos cancerígens.

Per les seves característiques aquests tipus de carbó són altament eficaços en la eliminació del sabor i olor de l'aigua.

- **FILTRE 4**

El darrer filtre s'ha disposat d'un carbó activat granular d'activació directe **C**, sent un producte d'alta qualitat fabricat a partir de carbó bituminós, a través d'un procés d'activació amb vapor. Per la seva elevada duresa, el carbó pot ser utilitzat en columnes de llit fix o mòbil, amb un mínim de pèrdues durant els processos de contrarentat. La majoria de porus es situen en el rang baix de la mesoporositat, el que fa que sigui molt adequat pel tractament d'aigua residual amb promig de contaminants de pes molecular intermedi i potabilització d'aigua.

Establiment del regim de treball

a) Línia de treball 1

Aquest itinerari està encarat a realitzar-se diàriament durant els tres primers mesos, temps estimat de projecció de la pendent d'esgotament del carbó, on s'analitzen paràmetres poc costosos econòmicament i funcionalment, així també es controla el cabal tractat diari i acumulat. Passat aquest període es realitza tres cops per setmana per tal d'avaluar la corba logarítmica resultant.

- Ultraviolat per espectrometria:

Aquest paràmetre indica l'absorció que la matèria orgànica produeix en una mostra d'aigua. Entre els 200 i els 350 nm l'espectre d'absorció d'una mostra presenta la variació de l'absorbància deguda principalment a la presència de molècules orgàniques amb

enllaços insaturats tipus (C=C) i (C=O), els que constitueixen la part essencial de les matèries oxidables. Aquest mètode es basa en la lectura de l'absorció a 254 nm en un espectròmetre on la llum travessa un gruix de mostra de 100 cm, com a un indicador inespecífic de qualitat orgànica de l'aigua. Les mesures de l'absorció a l'UV s'expressen en unitats d'absorbància per 100 cm. (imatge 4)

- Carboni orgànic total (COT):

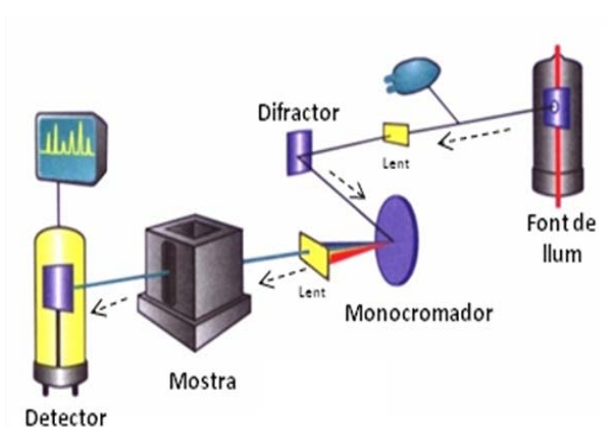
És un paràmetre indicador que quantifica la totalitat de la matèria orgànica, sense identificar els compostos, en aigües crues que transcorren per masses forestals on els àcids fúlvic i húmich són els responsables dels nivells de TOC refractaris, de difícil oxidació, i de conferir a l'aigua l'olor i gust aigua estancada. Valors de TOC a l'entrada de la planta es veuen incrementats pel que s'anomena TOC làbil, substàncies orgàniques fàcilment oxidables d'origen animal i antropomòrfic, i que al llarg del tractament de potabilització són oxidades. La determinació del TOC es realitza amb un equip Shimadzu TOC-5000 A.

b) Línia de treball 2

Aquesta trajectòria està encarada a determinar paràmetres de l'aigua un xic més costosos ambdós sentits, i que poden mostrar traces d'elements perillosos a la llarga per a la salut humana. Per aquest motiu es realitza quatre vegades al llarg de l'estudi, per avaluar amb l'eficàcia dels quatre carbons front a l'aigua en estudi.

- Inorgànics:

1) Metalls: l'ICP-MS, és una tècnica d'espectrometria de masses amb plasma



Imatge 4: Esquema funcional d'un espectròmetre. Elaboració pròpia

d'acoblament inductiu. Aquesta tècnica combina dues propietats analítiques que la converteixen en un potent instrument en el camp de l'anàlisi de traces multielemental.

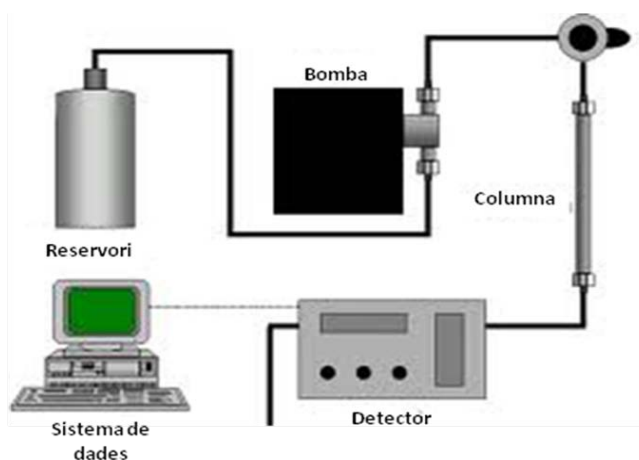
2) Anions: el mètode per determinar els anions és la cromatografia iònica. És una tècnica de separació basada en el principi d'adsorció selectiva amb l'objectiu és separar els diferents ions en una solució.

- Orgànics:

1) Compostos orgànics volàtils (COV's): són un tipus de substàncies hidrocarburades que s'evaporen a temperatura ambient. Pel que fa a la seva composició, solen presentar una cadena amb un nombre de carbonis inferior a dotze i contenen altres elements com l'oxigen, el fluor, el clor, el brom, el sofre o fins i tot nitrogen. La tècnica més comú és l'espai de cap dinàmic que consisteixen a arrossegar els COV's de la mostra, mitjançant un gas inert.

2) Hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP's): els hidrocarburs aromàtics policíclics, s'originen de la combustió incompleta o per piròlisi de la matèria orgànica, per l'activitat natural o antropogènica. Les anàlisis es realitzen per cromatografia de gasos acoblada a detector de captura d'electrons però amb una extracció en fase sòlida prèvia. (veure imatge 5)

3) Pesticides: és qual qualsevol substància elaborada per controlar, matar, repel·lir o atraure a una plaga. L'anàlisi es realitza a partir de l'extracció en fase sòlida basa en el mètode EPA, que consisteix en una extracció de mostra utilitzant discos d'extracció de



Imatge 5: Esquema funcional d'un cromatògraf de gasos. Elaboració

fase, i posteriorment un anàlisi instrumental mitjançant la cromatografia de gasos amb detector de captura d'electrons.

4) Benzè i derivats: és un hidrocarbur aromàtic poliinsaturat de fórmula molecular C_6H_6 , amb forma d'anell. L'anàlisi té com a finalitat els paràmetres BTEX en mostres aquoses que es realitza per la tècnica d'espai de cap estàtic i la seva detecció i quantificació per cromatografia de gasos amb detector d'ionització de flama (GC/FID).

5) Trihalometans: són compostos que es formen durant els processos de potabilització d'aigües degut a la utilització de clor com agent oxidant per a la desinfecció, i que reacciona amb la matèria orgànica, amb substàncies húmiques i fúlviques present en el medi. El mètode està basat en el model 501.2 de l'EPA, una extracció líquid-líquid, on el dissolvent és l'isooctà.

Línia de treball 3

Finalment, una via d'investigació encarada al propi material d'estudi, el carbó, que s'analitza tres vegades durant l'estudi. S'estudien paràmetres que poden donar a interpretacions de la funcionalitat del carbó front a les característiques de l'aigua.

- **Superfície BET, isoterma del N_2 a 77K:** la superfície específica és la relació entre l'àrea superficial total i la massa del sòlid. El mètode utilitzat és el mètode BET que determina la quantitat d'un gas inert per formar una monocapa sobre la superfície de la mostra a temperatura de 77 K. El càlcul de la microporositat es realitza amb l'anàlisi de la corba t (mètode t-plot), i els mesoporus amb la diferència entre el volum adsorbit a una pressió de 0,99 i el volum de microporus.

- **Blau de metilè:** és un assaig de decoloració que indica la capacitat d'un sòlid porós d'adsorbir una molècula que, per la seva grandària, no pot accedir a tots els microporus. Es basa en quantificar el blau de metilè adsorbit pel carbó; a partir de determinar l'excés de blau de metilè d'una solució per mitjans fotolorimètrics.

- **Índex de iode:** indicació de l'àrea superficial interna del carbó activat, mesura l'adsorció dels pous continguts en un

diàmetre superior a 5\AA , es proporcional a la superfície específica. El mètode consisteix en un anàlisi simple de volumetria indirecta.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

- Ultraviolat per espectrometria:

S'observa certa diferència significativa entre els dos primers filtres, que tenen un matèria prima igual, i els dos restants, la pela de coco i el d'activació directe. Però entre el F1 i el F2, el comportament és pràcticament igual, llevat que en moments puntuals de màxim ultraviolat a la mostra de decantació, el F2 disminueix més ràpidament la seva eficiència, però el temps de recuperació és menor. En canvi, el F1 la pendent és menor i el temps de resposta és major. Així que, front a un episodi d'ultraviolat a l'aigua de decantació, el F2 és més eficient que el F1 perquè triga menys a tornar al seu estat inicial. Això es tradueix en que ambdós sistemes estan en equilibri, però el filtre 2 és més estable que el filtre 1 encara provenint de la mateixa matèria prima. (punt 4 gràfic 1 annex 1, càlculs annex3).

- Carboni orgànic total (COT):

Els resultats obtinguts estan íntimament relacionats amb els resultats de UV. Ambdós estableixen una relació directa entre la quantitat de matèria orgànica, mesurat en forma de TOC, i l'absorció d'ultraviolat, ja que són directament proporcionals. Els dos primers filtres presenten una funció logarítmica menys pronunciada que no pas en els filtres 3 i 4, per tant el seu desgast és més suavitat i homogeni en el temps que els altres dos que s'esgoten i demostren un rendiment inferior. La diferència entre el F3 i el F4 és més notòria ja que el F3 experimenta un esgotament ràpid i per sota del 25% d'eliminació durant tres quartes parts de l'estudi, tot i que el rendiment és inferior al requerit per part de tots dos. (veure gràfic 2 annex 2)

- Inorgànics:

En general, el conjunt d'elements inorgànics analitzats, tant metalls, metalls de transició, no metalls, com anions els seus resultats no han estat reveladors.

En el cas dels anions estudiats, els quatre filtres han actuat de manera igualitària, per

això la classificació en funció d'aquest resultat és poc correcte.

- Orgànics:

Tant els HAP'S, el COV'S com el benzè i derivats no han estat detectats per les metodologies adscrites. Tot i mostrar valors infinitesimals de pesticides la mostra control (DEC), tots quatre carbons són capaços d'eliminar aquest element, però no amb tanta eficàcia el carbó D, que només redueix un 50% respecte el 75% de la resta. Els THM'S, a la primera analítica, els quatre carbons redueixen un 94% de mitja els valors de THM'S de la mostra inicial (DEC). Conforme transcorre el temps de funcionament del filtre, aquesta capacitat de reducció es veu davallada dins a in 2%. (veure taula 1, annex 4)

- Superfície BET, isoterma del N₂ a 77K:

Els resultats obtingut mostren que els quatre carbons redueixen la seva superfície BET, tal i com la hipòtesi inicial establia. Dins aquesta reducció, la diferència entre el primer filtre i el segon, que són de la mateixa matèria prima, és evident, cosa que contradiu la situació esperada. Per tant, el filtre que mostra un major percentatge de reducció en superfície, és a dir, que té major capacitat de adsorció de matèria present a l'aigua, és l'**A**, amb un 20% final, seguit pel **B** amb un 11%, el **D** amb 6%, i, finalment, el **C** amb només un 5%. (veure taula 2, annex 4)

- Blau de metilè:

Els resultats obtinguts mostren que quan el carbó és verge, anàlisi inicial, no són molt dispers els valors entre els quatre filtres. Es segueix observant que l'**A** és el de major eficiència ja que respecte el **B** i **C** és un 16,6% més competitiu en capacitat de retenció del blau de metilè (mg de azul de metileno/0,1g de carbón), i un 11,1% sobre el **D**. Es torna a manifestar la diferència existent entre **A** i **B**. (veure taula 3, annex 4)

- Índex de iode:

L'estadi inicial, els quatre carbons s'ubiquen dins el rang dels 1000 mg I₂ /0,1g de carbó, valors esperats. En funció del desgast durant el funcionament dels filtres a l'estudi, els resultats presenten una correlació molt significativa amb el blau de metilè. És a dir,

els quatre carbons redueixen la seva eficiència, però de forma més notòria al F3. (veure taula 4, annex 4)

- Eina operacional per la planta industrial:

Com aplicació de les múltiples dades obtingudes, s'ha desenvolupat una eina de treball per determinar, en temps i condicions reals, amb major precisió el moment de la reactivació a partir de la corba d'esgotament de cada carbó estudiat de forma extrapolable a la planta industrial. Més enllà encara, fer-ne una eina variable en funció del cabal d'entrada i el nombre de filtres de carbó en funcionament, ja que no tots treballen alhora i filtren el mateix volum. Aquest instrument s'elabora a partir de les dades i condicions que té l'ETAP en el moment d'aplicació, és a dir, és necessari saber els m³/s d'aigua rebuda a la planta, i en funció del volum i el nombre de filtres s'obté nombre llits filtrats/filtre.

Per un altre costat, amb la corba d'esgotament en %d'eliminació de COT obtinguda de cada filtre durant l'estudi, i amb un límit mínim seleccionat de d'aquest mateix paràmetre, aïllar el nombre de dies que el carbó pot eliminar la quantitat de COT establert. Per exemple, si es vol que com a mínim el carbó elimini un 5% del COT, i amb el carbó aglomerat hulla A, s'obté una equació tal com:

$$Y = -20,97 \ln(X) + 230,90 \quad R^2 = 0,8263$$

s'obté 290.091 llits que en dies equivalen a 1563 dies, dies que necessitaran els filtres per ser reactivats si tots funcionen a la vegada, i el cabal és màxim. (veure taula 6)

A partir d'aquí es pot dissenyar una aplicació (format Excel) que en funció del nombre de filtres en funcionament i el volum a tractar faciliti el valor real de dies restants a la reactivació. Per exemple, a la taula 7, el primer dia d'implementació de l'eina, 02/02/2011, a la primera columna s'observa el nombre de dies inicials, els 1563 dies. A la tercera, el cabal en que la planta aquell dia funcionava de promig, 4,0m³/s. A la quarta, el nombre de filtres en funcionament d'aquell mateix dia, 48 filtres, i finalment el nombre restant de dies per la reactivació, 1563. Al dia següent, 03/02/2011, el promig de cabal tractat a variat respecte al dia anterior, 3,3

m3/s, però manté el mateix nombre de filtres. Com a conseqüència el valor de dies restants, només davalla una unitat. Però, per exemple el dia 10/02/2011, el volum d'aigua i el nombre de filtres és significativament diferent al inicial, 6,9m3/s i 38 filtres, per això el valor de dies restants decau més acusadament, 1556 dies. (veure taula 28)

Encara més enllà d'aquesta funció tant útil per reduir el nombre d'analítiques del carbó i el costos treball que comporta l'extracció de

es més B > A >>> D > C pot filar prim la seva

aplicació. Cada filtre té un funcionament diferent a la resta, ja sigui per manca de cabal o temps de rentat i obturació, o simplement per decisions tècniques, i inclús pot contenir carbons de matèria diferent. Per això aplicar aquest instrument a cada filtre de carbó pot mostrar una realitat equànime a la situació que pateix cadascun d'ells.

Per exemple, el càlcul teòric, és a dir, quan els càlculs es basen amb les dades projectades a cabal nominal i tots els filtres en funcionament, el filtre 11, que disposa de carbó tipus A i es va posar en servei el dia 01/02/2011, amb un valor del 15% d'eliminació de COT com a mínim, el nombre de dies que li resten per ser reactivat són 160. Aquest 160 dies equivalen a 29.604 llits i es pronostica una reactivació el dia 10/07/2011.

Com que a la pràctica el filtre no ha funcionat sempre i amb un cabal nominal continu, com que el sistema SCADA facilita el volum acumulat per cada filtre, aquest es pot extrapolar a nombre de llits que realment ha filtrat, que restant al nombre de llits teòrics es pot esbrinar els llits que manquen, per això saber la data real de reactivació de cada filtre. En total, el filtre 11 s'haurà de reactivar el 29/07/2011, 19 dies més tard del pronòstic teòric.

Si es compara el filtre 11 amb el 5, aquest es va posar en servei el mateix dia però el

volum d'aigua filtrada és inferior per això la seva data de reactivació és encara més llunyana que la del filtre 11, concretament el 05/10/2011. (veure taula 8)

CONCLUSIONS

1. Els mètodes analítics aplicats a l'aigua i al carbó, han permès caracteritzar ambdues matrius i avaluar el procés de saturació del carbó actiu, al llarg de més de 2.000h durant els cinc mesos d'estudi del procés de filtració.
2. L'operació de la planta pilot ha estat proporcional al funcionament de l'ETAP industrial, fet que ha permès extrapolar els resultats de l'estudi pilot a l'operació real d'exploació, amb un estalvi i de temps i diners.
3. Els resultats obtinguts han permès diferenciar el comportament entre els 4 carbons estudiats, fet que es relaciona amb les característiques de les matèries primeres i del sistema d'activació que tenen cadascun d'ells.
4. La comparació de carbons, de la mateixa tipologia i mètode d'activació, amb d'altres diferents i el seguiment del seu comportament, permeten obrir noves expectatives dins de l'àmbit comercial, en el mercat del carbó actiu que es troba en fase de ràpida evolució i dispersió a països de baixa especialització.
5. S'ha aconseguit crear una eina de treball informàtica per l'ETAP industrial, que per mitjà de la mesura a l'aigua filtrada d'un paràmetre de fàcil control, permet avaluar el temps que manca per fer la reactivació del carbó, fet de gran importància a nivell tècnic, logístic i econòmic.
6. Dels quatre carbons estudiats, els dos d'origen mineral, d'hulla bituminosa, activat i aglomerat, es comporten per l'aigua estudiada, millor que els altres dos (amb poca diferència entre ells) i millor que els de closca de coco i mineral d'activació directa, amb la següent jerarquitització:

REFERENCIES

- [1] C.J. Castro. Influència de l'inflament a l'àrea superficial de diferents carbonitzadors. Treball de Grau. Departament de Química.

Universitat Nacional. Bogotá, 1978. Catalysis reviews, Vol.8, No.1, 1973 pàg. 80-102.

[2] Centre Nacional d'Investigacions Científiques. Ministeri d'Educació Superior. Edicions *ENPES, l'Havana, 1987.

[3] S. R. García. Caracterització de carbonitzadors per microscopia electrònica d'escombratge i química superficial. Treball de Grau. Departament de Química. Universitat Nacional. Bogotá, 1996.

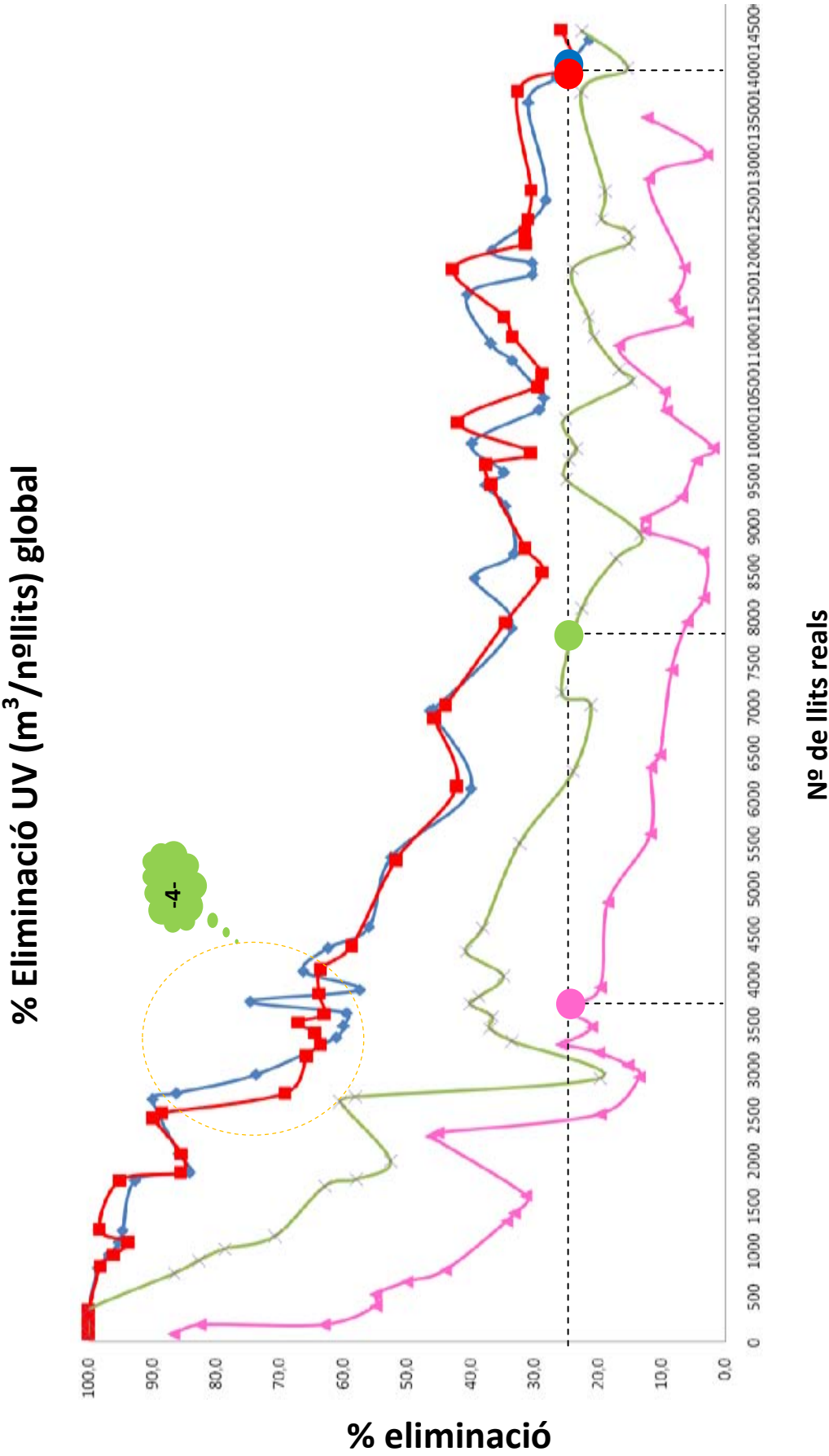
[4] O. Jiménez. Preparació de carbó activat a partir de diferents tipus de material vegetal colombià de deixalles amb possible aplicació en la remoció de fenol en aigua residuals.

Treball de Grau. Departament de Química. Universitat Nacional. Bogotá, 2000.

[5] M.V. López-Ramón, F. Stoeckli, C. Moreno-Castilla. Carbon, 1999.

[6] B. J. Ramírez. Efecte del pre-inflament i l'oxidació a l'àrea superficial de carbonitzadors utilitzant carbons aglomerants. Treball de Grad. Departament de Química. Universitat Nacional. Bogotá, 1997. [7] F. Rouquerol, J.*Rouquerol, K. S. W. Sing. Adsorption powers and porous solids. Principles, methods and applications. San Diego, Ca: Academic Press, 1999.

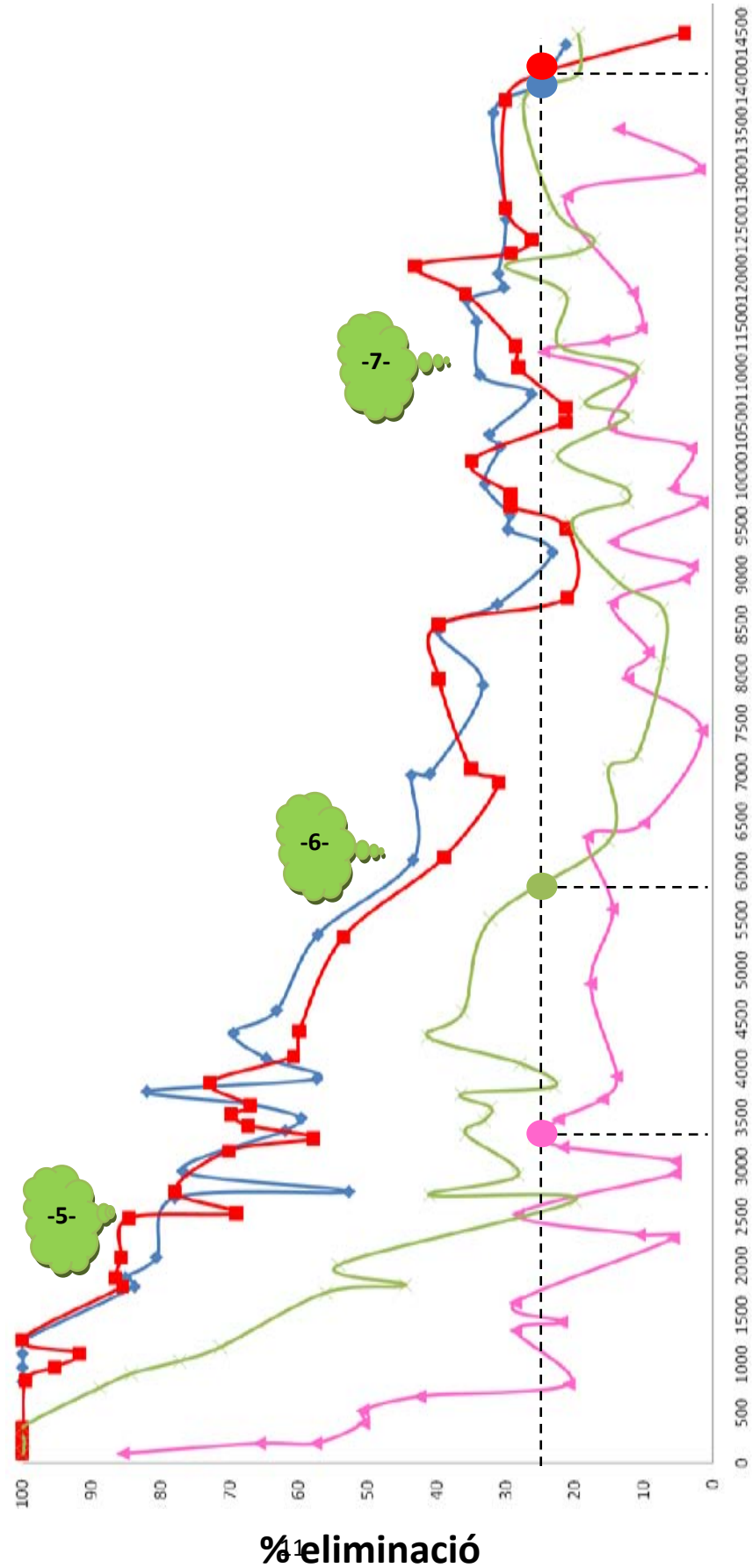
ANNEX 1



GRÀFIC 1: Evolució dels quatre filtres respecte la mostra de decantació en percentatge d'eliminació UV. Elaboració pròpia

ANNEX 2:

% Eliminació COT ($\text{m}^3/\text{n}^\circ\text{llits}$) global



Nº de llits reals

GRÀFIC 2: Evolució dels quatre filtres respecte la mostra de decantació en percentatge d'eliminació COT. Elaboració pròpia

ANNEX 3:

¹ Càlculs addicionals, representació eix de les abscisses gràfics del 5 al 14:

Si la planta real té un volum d'entrada d'aigua de $5\text{m}^3/\text{s}$ que equivalen a $432.000\text{m}^3/\text{dia}$ i aquesta té 46 filtres de carbó amb un volum de 74m^3 cada filtre, en total es procedirà a $126,9\text{llits}/\text{dia}$, entenent com a llit el número de vegades que l'aigua d'entrada travessa els filtres.

$$\frac{5\text{m}^3 \times 3600\text{s} \times 24\text{h}}{1\text{s} \quad 1\text{h} \quad 1\text{dia}} = 432.000 \text{ m}^3/\text{dia}$$
$$\frac{432.000\text{m}^3/\text{dia}}{(46\text{filtres} \times 74\text{m}^3)} = 126,9\text{llits}/\text{dia}$$

Aquests càlculs permeten extrapolar valors en dies, per exemple:

- Amb el gràfic 14 d'eliminació de COT, s'hi fixa un percentatge de rendiment al 25%, pel filtre 1 aquest 25% equival, aproximadament 14.000llits , per tant es pot saber el temps que trigarà en saturar-se i requerirà la seva reactivació:

$$\frac{126,9\text{llits} \times 1\text{dia}}{1\text{dia} \quad 24\text{h}} = 126,9\text{llits}/24\text{h}$$
$$\frac{14.000\text{llits del F1} \times 24\text{h}}{126,9\text{llits}} = 2647,75\text{h}$$
$$\frac{2647,75\text{h}}{24\text{h}} = 111\text{dies}$$

- Si es realitza la mateixa operació pel filtre 3 el temps necessari per la reactivació serà:

$$\frac{126,9\text{llits} \times 1\text{dia}}{1\text{dia} \quad 24\text{h}} = 126,9\text{llits}/24\text{h}$$
$$\frac{3.500\text{llits del F3} \times 24\text{h}}{126,9\text{llits}} = 661,93\text{h}$$
$$\frac{661,93\text{h}}{24\text{h}} = 28\text{dies}$$

Com s'observa la diferència entre un filtre i l'altre és significativa, factor determinant alhora de decantar una selecció o l'altre per la instauració a la ETAP.

ANNEX 4:

		Bromdiclormetà- CHCl ₂ Br	Bromoform- CHBr ₃	Cloroform- CHCl ₃	Dibromclormetà- CHClBr ₂	Total THM's	IEA
DEC	1 ^a anàlisi	6,86	0	43,17	0,80	50,83	0,34
	2 ^a anàlisi	6,28	0	28,34	0,99	35,61	0,26
	3 ^a anàlisi	8,69	0	46,3	1,67	56,66	0,393
	4 ^a anàlisi	6,45	0	36,21	0	42,66	0,29
F1	1 ^a anàlisi	0	0	2,81	0	2,81	0,01
	2 ^a anàlisi	2,03	0	22,47	0	24,50	0,15
	3 ^a anàlisi	5,4	0	46,96	0	52,36	0,3248
	4 ^a anàlisi	5,98	0	35,46	0	41,44	0,28
F2	1 ^a anàlisi	0	0	1,54	0	1,54	0,01
	2 ^a anàlisi	1,49	0	16,74	0	18,23	0,11
	3 ^a anàlisi	4,5	0	41,03	0	45,53	0,2801
	4 ^a anàlisi	4,96	0	31,21	0	36,17	0,24
F3	1 ^a anàlisi	0	0	3,28	0	3,28	0,02
	2 ^a anàlisi	0,97	0	10,75	0	11,72	0,07
	3 ^a anàlisi	3,13	0	37,18	0	40,31	0,2381
	4 ^a anàlisi	3,52	0	25,54	0	29,06	0,19
F4	1 ^a anàlisi	0	0	5,49	0	5,49	0,03
	2 ^a anàlisi	2,98	0	31,01	0	33,99	0,20
	3 ^a anàlisi	7,38	0	57,20	0	64,58	0,41
	4 ^a anàlisi	7,43	0	38,62	0	46,05	0,32

Taula 1: resultats analítics d'elements orgànics, THM'S. Elaboració pròpia

Taula 2: resultats de les isoterms de nitrogen a 77K. Elaboració pròpia. ***

Mostra	Superfície BET (m²/g)	Reducció de superfície (m²/g)	Volum microporus (cm³/g)	Volum mesoporus (cm³/g)	Volum total (cm³/g)
F1 inici	1240	---	0,45	0,23	0,68
F1 entremig	1135	8%	0,42	0,23	0,65
F1 final	993	20%	0,40	0,23	0,63
F2 inici	980	---	0,38	0,15	0,53
F2 entremig	890	9%	0,34	0,15	0,49
F2 final	785	11%	0,29	0,15	0,44
F3 inici	1035	---	0,40	0,04	0,44
F3 entremig	1019	1%	0,38	0,04	0,42
F3 final	967	5%	0,33	0,04	0,37
F4 inici	1060	---	0,37	0,20	0,57
F4 entremig	1020	4%	0,35	0,20	0,55
F4 final	958	6%	0,31	0,20	0,51

***Valors proporcionats per la Universitat d'Alacant, grup de recerca Dr. Rodriquez Reinoso

Taula 3: resultats de l'índex de blau de metilè. Elaboració pròpia. ***

Mostra	mg de AM/0,1g	% Reducció
F1 inici	21,6	---
F1 entremig	18,0	17%
F1 final	14,1	35%
F2 inici	18,0	---
F2 entremig	13,2	27%
F2 final	11,1	38%
F3 inici	18,0	---
F3 entremig	15,6	13%
F3 final	10,1	44%
F4 inici	19,2	---
F4 entremig	19,0	1,1%
F4 final	18,7	2,6%

Taula 4: resultats de l'índex de iode. Elaboració pròpia. ***

Mostra	Promig	% Reducció
F1 inici	1357	---
F1 entremig	1116	16%
F1 final	695	31%
F2 inici	1102	---
F2 entremig	906	18%
F2 final	586	29%
F3 inici	1188	---
F3 entremig	1071	10%
F3 final	608	39%
F4 inici	997	---
F4 entremig	911	9%
F4 final	801	11%

ANNEX 5:

MODEL TEÒRIC

TIPUS DE CAG: AGLOMERAT HULLA 12X40 NORIT

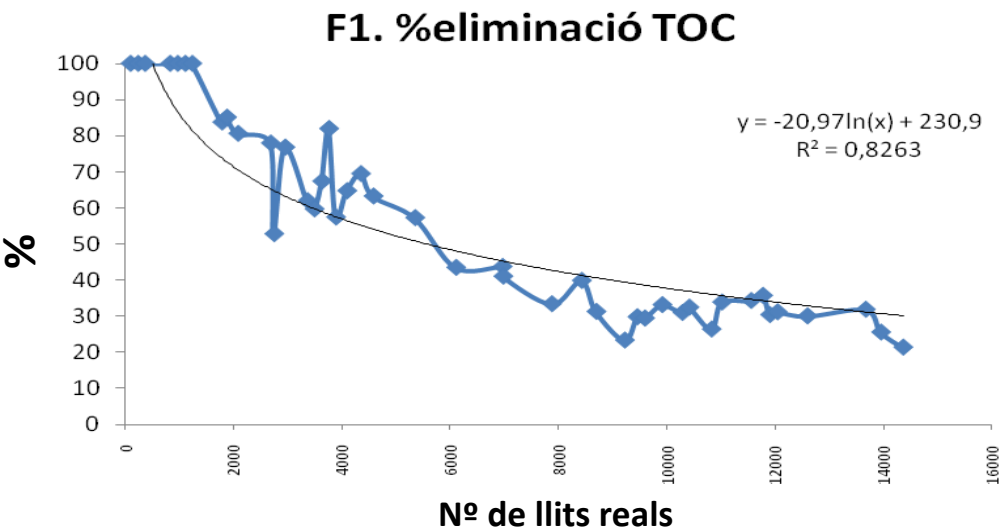
PILOT EMPRAT: PILOT CAG ETAP TER

APLICACIÓ MODEL: ETAP TER GENERAL

DISSENY ETAP TER

8,00	m3/s	filtres	48
8.000	l/s	m2	97
691.200	m3/dia	llit	0,8
		volum	77,6
		m3/dia/filtro	14.400
		nº llits filtrats/filtre	186

Taula 5: descripció de dades generals de la planta real.



GRÀFIC 3: Evolució del F4 en percentatges d'eliminació UV. Elaboració pròpia

PARÀMETRE: % REDUCCIÓ TOC PTER			
Y=-20,97ln(x) + 230,9		PARAMETRE	OBJECTIU
R2	0,8263		
a	-20,97	%RET TOC	15
b	230,9		

llits	29.604
DIES	160

Taula 6: dades per obtenir el nombre de dies de retenció del carbó.

Dies restants	DATA	cabal	m ³ filtrats	nº filtres	nº llits filtrats/filtre/dia	acumulat	X	manquen
1563	02/02/2011	4,0	345.444	48	93	93	289.999	1.563
1562	03/02/2011	3,3	287.233	48	77	170	289.921	1.562
1561	04/02/2011	6,9	600.000	42	184	354	289.737	1.561
1560	05/02/2011	6,9	600.000	44	176	530	289.562	1.560
1559	06/02/2011	6,9	600.000	48	161	691	289.401	1.560
1558	07/02/2011	6,9	600.000	48	161	852	289.239	1.559
1557	08/02/2011	6,9	600.000	46	168	1.020	289.071	1.558
1556	09/02/2011	6,9	600.000	38	203	1.223	288.868	1.557
1555	10/02/2011	6,9	600.000	38	203	1.427	288.664	1.556
1554	11/02/2011	3,9	332.980	26	165	1.592	288.499	1.555
1553	12/02/2011	4,4	379.337	48	102	1.694	288.398	1.554
1552	13/02/2011	4,3	374.652	48	101	1.794	288.297	1.554

Taula 7: descripció de dies restants a la reactivació en funció de filtres i cabal.

Taula 8: descripció de les condicions i estat actual dels filtres de carbó, bateria 1.

CÀLCUL TEÒRIC

Nº filtre

11

5

Data posada en servei

01/02/2011

01/02/2011

nº dies esperats funcionant a cabal nominal en continu (fins 15% TOC inicial)

160

160

Llits equivalents

29.604

29.604

Data reactivació inicial prevista

10/07/2011

10/07/2011

CÀLCUL OPERACIONAL REAL ETAP INDUSTRIAL

Volum acumulat diari real filtrat (m³) a data d'avui

2.019.200

1.040.400

Llits equivalents reals filtrats

26.021

13.407

Llits equivalents teòric-operacionals

3.583

16.197

nº dies guanyats

19

87

Data reactivació final

29/07/2011

05/10/2011